



[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-183541  
(P2001-183541A)

(43) 公開日 平成13年7月6日(2001.7.6)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 2 B 6/126		G 0 2 F 1/01	C 2 H 0 4 7
6/122		G 0 2 B 6/12	E 2 H 0 7 9
G 0 2 F 1/01			A 5 K 0 0 2
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	M
10/18			E

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 22 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平11-363528

(22) 出願日 平成11年12月21日(1999.12.21)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 金城 肇

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(72) 発明者 杉原 隆司

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(74) 代理人 100089118

弁理士 酒井 宏明

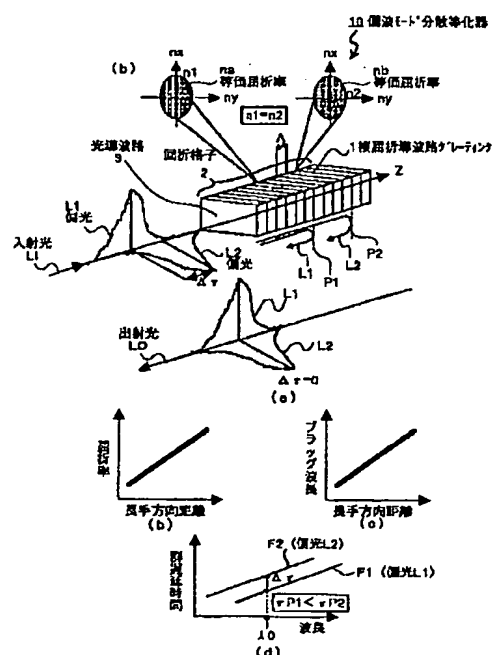
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏波モード分散等化器

(57) 【要約】

【課題】 各偏波モード間の結合および非線形光学効果による影響が無視できない光伝送路の適宜な複数箇所に容易に設けてPMD補償を行うこと。

【解決手段】 ブラッグ反射を生じさせる複屈折導波路グレーティング1を有した光導波路3の等価屈折率に複屈折性をもたせ、光導波路3の入出力端から入力された入射光L1の偏光L1、L2の偏波モード分散を光導波路3上におけるブラッグ反射の反射点P1、P2の位置を、光導波路3の長手方向における等化屈折率を変化させることによって変化させて、各偏光L1、L2の群遅延時間差 $\Delta\tau$ である偏波モード分散を補償する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ブラッグ反射を生じさせるグレーティングを有した光導波路の等価屈折率に複屈折性をもたせ、前記光導波路の入出力端から入力された光信号の偏波モード分散を該光導波路上におけるブラッグ反射位置の長短によって補償し、該光導波路の入出力端から出力することを特徴とする偏波モード分散等化器。

【請求項2】 前記光導波路の長手方向の屈折率を変化させたことを特徴とする請求項1に記載の偏波モード分散等化器。

【請求項3】 前記光導波路のグレーティング間隔を該光導波路の長手方向に線形に変化させたことを特徴とする請求項1に記載の偏波モード分散等化器。

【請求項4】 前記光導波路の長手方向の屈折率変化あるいは前記光導波路のグレーティング間隔の変化を該長手方向の距離の関数によって変化させたことを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載の偏波モード分散等化器。

【請求項5】 前記光導波路の長手方向に温度勾配を与える温度勾配手段をさらに備えたことを特徴とする請求項1～4のいずれか一つに記載の偏波モード分散等化器。

【請求項6】 前記光導波路の長手方向に電界勾配を与える電界勾配手段をさらに備えたことを特徴とする請求項1～4のいずれか一つに記載の偏波モード分散等化器。

【請求項7】 前記光導波路の長手方向に応力勾配を与える応力勾配手段をさらに備えたことを特徴とする請求項1～4のいずれか一つに記載の偏波モード分散等化器。

【請求項8】 入力する光信号を伝送する第1の光伝送路と、

出力する光信号を伝送する第2の光伝送路と、

前記第1の光伝送路と前記光導波路の入出力端と前記第2の光伝送路とを接続した光サーキュレータと、

をさらに備えたことを特徴とする請求項1～7のいずれか一つに記載の偏波モード分散等化器。

【請求項9】 入力する光信号を伝送する第1の光伝送路と、

出力する光信号を伝送する第2の光伝送路と、

前記第1の光伝送路と前記光導波路の入出力端と前記第2の光伝送路とを接続し、該第1の光伝送路と該複数の前記光導波路と該第2の光伝送路との間で入出力される光信号を合分波する光合分波器と、

をさらに備えたことを特徴とする請求項1～7のいずれか一つに記載の偏波モード分散等化器。

【請求項10】 前記光サーキュレータに接続され、前記光導波路の入出力端から出力された光信号の波長分散を補償し、該光サーキュレータに出力する可変分散補償手段をさらに備えたことを特徴とする請求項8または9

に記載の偏波モード分散等化器。

【請求項11】 前記光導波路の入出力端の前段に該光導波路に入力される光信号の偏波面を調整する偏波面調整手段をさらに備えたことを特徴とする請求項8または9に記載の偏波モード分散等化器。

【請求項12】 前記光導波路の入出力端から出力された光信号の偏波モード分散を検出する偏波モード分散検出手段と、

前記偏波モード分散検出手段の検出結果をもとに前記温度勾配手段、前記電界勾配手段または前記応力勾配手段を制御して前記偏波モード分散を最小にする制御手段と、

をさらに備えたことを特徴とする請求項5～11のいずれか一つに記載の偏波モード分散等化器。

【請求項13】 前記光導波路の入出力端から出力された光信号の符号誤りを検出する誤り検出手段と、

前記誤り検出手段の検出結果をもとに前記温度勾配手段、前記電界勾配手段または前記応力勾配手段を制御して前記符号誤りを最小にする制御手段と、

をさらに備えたことを特徴とする請求項5～11のいずれか一つに記載の偏波モード分散等化器。

【請求項14】 波長多重化された光信号を複数のポートに分波する分波器と、

前記分波器によって分波された光信号のうちの所定波長帯域の光信号を取り出し、取り出された光信号を複数の前記光導波器のうちの対応する光導波器の入出力端にそれぞれ入力する複数の光フィルタと、

各光導波器の入出力端から出力された光信号を合波して出力する合波器と、

をさらに備えたことを特徴とする請求項1～13のいずれか一つに記載の偏波モード分散等化器。

【請求項15】 波長多重化された光信号を所定波長帯域毎に分岐し、分岐された各光信号を複数の前記光導波路のうちの対応する光導波路の入出力端に接続するアレイ型導波路格子と、

前記アレイ型導波路格子を接続する光サーキュレータと、

をさらに備えたことを特徴とする請求項1～13のいずれか一つに記載の偏波モード分散等化器。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、超高速光通信システムにおける光信号の偏波モード分散(PMD: Polarization Mode Dispersion)を補償する偏波モード分散等化器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来から、光信号の伝送においては、光が異なる屈折率をもつ物質中を進んだ場合、この物質の屈折率の大小によって物質中の伝搬速度が異なり、屈折率 $n$ の物質中を光が伝搬するときの伝搬速度 $v$ は、光の

速度を「 $c$ 」として、次式(1)で示される。

$$\beta = c/n \quad \dots (1)$$

ここで、入射光の偏波方向によって屈折率の異なる材料(異方性材料)中での光の伝搬であって、長さ $L$ の異方性材料における光の伝搬を考える。入射光の偏波方向によって光が受ける屈折率を「 $n_1$ 」または「 $n_2$ 」とする場合、式(1)をもとに、各屈折率 $n_1$ 、 $n_2$ における伝搬速度 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ は、式(2)、(3)に示すようになる。

$$\beta_1 = c/n_1 \quad \dots (2)$$

$$\beta_2 = c/n_2 \quad \dots (3)$$

【0003】ここで、各光が長さ $L$ の異方性材料を通過する時間 $\tau_1$ 、 $\tau_2$ は、それぞれ次式(4)、(5)に示すようになる。

$$\tau_1 = L/\beta_1 = L \cdot n_1 / c \quad \dots (4)$$

$$\tau_2 = L/\beta_2 = L \cdot n_2 / c \quad \dots (5)$$

【0004】したがって、光が異なる屈折率 $n_1$ 、 $n_2$ を受けて異方性材料中を伝搬する場合、異方性材料通過後の遅延時間が異なるという現象が生じる。このとき、異方性材料中での各固有偏波方向に変更した光に生じる遅延時間 $|\tau_1 - \tau_2|$ を偏波モード分散(PMD)という。

【0005】一般に、光伝送路として用いられる単一モードファイバでは、互いに直交する二つの方向に偏光し、縮退した二つのモードを伝える。ここで、単一モードファイバが、完全な軸対称性を有し、等方的な材質であるという理想的な条件のもとでは、二つの直交する偏波の伝搬速度には差が生じないため、PMDの値は零となる。

【0006】しかし、実際には単一モードファイバの長手方向に沿って、局所的にわずかな異方性が生じているため、このような単一モードファイバ内を光信号が伝搬すると、伝搬経路中に存在する屈折率異方性が生じている箇所において光信号が有する偏波方向に対応した遅延差が生じる。この光信号の偏波の歪みによる遅延差が伝送路中で蓄積されると、受信端において信号波形の劣化を引き起こすことになる。

【0007】従来一般的なPMD補償方式は、受信器前においてPMDを検出し、この検出したPMD量に応じた検出信号をPMD補償回路にフィードバックし、受信器端においてPMD量を一括して補償するようにしている。たとえば、図2.2は、PMD補償回路の一例を示す図である。図2.2において、PMD補償回路200の光タップ224は、光伝送路211上の光信号の一部を取り出し、PMD検出器223は、光タップ224によって取り出した光信号をもとにPMDによる波形劣化を検出し、PMD波形歪に対する補償量を制御回路222a、222bに送出する。制御回路222bは、入力された補償量をもとに、偏波面調整部226を制御し、光伝送路211から入力される、PMD歪みを受けた光信

号の偏光状態を最適にする。制御回路222aは、入力された補償量をもとに遅延光学系227cを制御してPMD歪みを補償する。このPMD歪みの補償が行われた光信号は、光伝送路211上へ送出され、光タップ224による光信号の一部取り出しによるフィードバック制御が実行される。

【0008】偏波面調整部226は、偏光面が、偏光ビームスプリッタ227aと偏光ビームスプリッタ227bとが分離する偏光主軸に対して45度の角度となるように、偏波面を調整して出力する。偏波面が調整された光信号は、偏光ビームスプリッタ227aによって、光ファイバの速度軸に偏光したx偏光11と、これに直交する光ファイバの遅延軸に偏光したy偏光12とに分離される。x偏光11は、遅延光学系227cに出力されるが、このx偏光と直交するy偏光12は、そのまま偏光ビームスプリッタ227bに出力される。遅延光学系227cは、制御回路222aの制御のもとに、入力された偏波光のPMD、つまり各偏光の群遅延時間差 $\Delta\tau$ 分、x偏光とy偏光とを遅延させて、偏光ビームスプリッタ227bに出力する。

【0009】この遅延差 $\Delta\tau$ は、主として、遅延光学系227c内のミラーm1、m2の距離を調整し、x偏光11の往復時間を変えることによって設定される。このミラーm1、m2間の距離は、制御回路222aによって行われる。PMD検出器223は、光タップ224を介して取り出した光信号の一部をもとにPMDによる波形劣化を検出し、PMD波形歪に対する補償量を算出し、この補償量を制御回路222a、222bに送出する。制御回路222aは、入力された補償量に相当する遅延差 $\Delta\tau$ を求め、この遅延差 $\Delta\tau$ に相当するミラーm1、m2間の距離を算出し、この算出した距離となるようにミラーm2を移動させる。一方、制御回路222bは、入力された補償量が最小となるように、偏波調整部226に対して、偏波面調整を行わせ、偏光ビームスプリッタ227aによるx偏光11とy偏光12との分岐を確実に行わせ、PMD歪みが最小となるようにする。

【0010】ここで、図2.3を参照して、PMD補償処理について説明する。図2.3(a)は、PMD補償前におけるx偏光とy偏光との関係を示し、図2.3(b)は、PMD補償後におけるx偏光とy偏光との関係を示している。図2.3において、偏波面調整部226による偏光ビームスプリッタ227aに対する偏波面調整が正しく行われている場合、y偏光12は、x偏光11に対する直交偏波成分として表せる。y偏光12は、x偏光11に対して、PMD歪みによる遅延差 $\Delta\tau$ 分遅延して伝送される。遅延光学系227cは、x偏光11を遅延差 $\Delta\tau$ 分遅延させるので、図2.3(b)に示すように、x偏光11とy偏光12との遅延差 $\Delta\tau$ は解消され、PMD歪みは補償されることになる。

【0011】その後、偏光ビームスプリッタ227b

は、偏光ビームスプリッタ227aから直接入力されたy偏光12と、遅延光学系227cから入力されたx偏光11とを合波し、PMD補償がなされた光信号として光伝送路211上に出力する。その後、さらに、この光信号の一部が光タップ224によって取り出され、フィードバックループによるPMD補償が実行される。

【0012】なお、上述したPMD補償回路の構成は、文献「Automatic Compensation of First Order Polarization Mode Dispersion in a 10 Gb/s Transmission System」(Fred Heismannら著, ECOC'98, 20-24, September, 1998, pp529-530)に記載されている。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述したPMD補償方式では、光伝送路における各偏波モード間の結合が小さく、また光伝送路における非線形光学効果の影響が小さい状態である場合には有効にPMD歪みを補償することができるが、光伝送路における各偏波モード間の結合が大きく、また光伝送路における非線形光学効果の影響が無視できない場合、一旦PMDによる偏波モード間の遅延差が生じると、各偏波が受ける非線形光学効果の大きさが異なる上、さらに偏波モード間でパワーの結合が生じるために、各偏波モードの光信号波形は互いに異なったものとなり、もはや、受信器前での一括補償では信号波形の再現が困難になるという問題点があった。

【0014】そこで、受信器前の一括補償のみならず、各偏波モード間の結合および非線形光学効果による影響が大きくなる前に、光伝送路上の複数箇所にPMD補償回路を設け、受信器端における信号波形の再現を確実にできるようにしているが、上述したPMD補償回路は、遅延光学系227c等の光学部品が多く用いられているため、その装置規模が大きく、設置およびその取り扱いにかかる時間と労力が大きいという問題点があった。

【0015】この発明は上記に鑑みてなされたもので、各偏波モード間の結合および非線形光学効果による影響が無視できない光伝送路の適宜な複数箇所に容易に設けてPMD補償を行うことができる小型化された偏波モード分散等化器を得ることを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、この発明にかかる偏波モード分散等化器は、ブラッグ反射を生じさせるグレーティングを有した光導波路の等価屈折率に複屈折性をもたせ、前記光導波路の入出力端から入力された光信号の偏波モード分散を該光導波路上におけるブラッグ反射位置の長短によって補償し、該光導波路の入出力端から出力することを特徴とする。

【0017】この発明によれば、光導波路の一端から入射された光信号は、光導波路上のグレーティングによって生じるブラッグ反射位置を複屈折性によって、光信号の各偏光に対するブラッグ反射位置を異ならせて反射さ

せることによって、反射光路長差を持たせ、この反射光路長の違いによって入射光を構成する各偏光の群遅延時間差 $\Delta\tau$ である偏波モード分散を補償するようにしている。

【0018】つぎの発明にかかる偏波モード分散等化器は、上記の発明において、前記光導波路の長手方向の屈折率を変化させたことを特徴とする。

【0019】この発明によれば、光導波路の長手方向の屈折率を変化させることによって、光導波路の長手方向距離に対応するブラッグ波長を変化させ、これによって各偏光の群遅延時間差である偏波モード分散を補償するようにしている。

【0020】つぎの発明にかかる偏波モード分散等化器は、上記の発明において、前記光導波路のグレーティング間隔を該光導波路の長手方向に線形に変化させたことを特徴とする。

【0021】この発明によれば、光導波路のグレーティング間隔を光導波路の長手方向に沿って線形に変化させてチャープドグレーティングを実現し、光導波路の長手方向距離に対応するブラッグ波長を変化させ、これによって各偏光の群遅延時間差である偏波モード分散を補償するようにしている。

【0022】つぎの発明にかかる偏波モード分散等化器は、上記の発明において、前記光導波路の長手方向の屈折率変化あるいは前記光導波路のグレーティング間隔の変化を該長手方向の距離の関数によって変化させたことを特徴とする。

【0023】この発明によれば、光導波路の長手方向の屈折率変化あるいは光導波路のグレーティング間隔の変化を長手方向の距離の関数によって変化させ、光導波路の長手方向距離に対応するブラッグ波長を変化させ、これによって各偏光の群遅延時間差である偏波モード分散を補償するようにしている。

【0024】つぎの発明にかかる偏波モード分散等化器は、上記の発明において、前記光導波路の長手方向に温度勾配を与える温度勾配手段をさらに備えたことを特徴とする。

【0025】この発明によれば、温度勾配手段が光導波路の長手方向に温度勾配を与え、この温度勾配によって光導波路の長手方向に屈折率変化を与えることによって光導波路の長手方向距離に対応するブラッグ波長を変化させ、これによって各偏光の群遅延時間差である偏波モード分散を任意に変更し、最適な偏波モード分散の補償を行うようにしている。

【0026】つぎの発明にかかる偏波モード分散等化器は、上記の発明において、前記光導波路の長手方向に電界勾配を与える電界勾配手段をさらに備えたことを特徴とする。

【0027】この発明によれば、電界勾配手段が光導波路の長手方向に電界勾配を与え、この電界勾配によって

光導波路の長手方向に電気光学効果を生じさせ、この電気光学効果による屈折率変化を与えることによって光導波路の長手方向距離に対応するブラッグ波長を変化させ、これによって各偏光の群遅延時間差である偏波モード分散を任意に変更し、最適な偏波モード分散の補償を行うようにしている。

【0028】つぎの発明にかかる偏波モード分散等化器は、上記の発明において、前記光導波路の長手方向に応力勾配を与える応力勾配手段をさらに備えたことを特徴とする。

【0029】この発明によれば、たとえば圧電素子等を用いた応力勾配手段が光導波路の長手方向に応力勾配を与え、この応力勾配が与えられた近傍の光導波路の光路長を伸長させて光導波路の長手方向距離に対応するブラッグ波長を変化させ、これによって各偏光の群遅延時間差である偏波モード分散を任意に変更し、最適な偏波モード分散の補償を行うようにしている。

【0030】つぎの発明にかかる偏波モード分散等化器は、上記の発明において、入力する光信号を送送する第1の光伝送路と、出力する光信号を送送する第2の光伝送路と、前記第1の光伝送路と前記光導波路の入出力端と前記第2の光伝送路とを接続した光サーキュレータと、をさらに備えたことを特徴とする。

【0031】この発明によれば、第1の光伝送路から入力された光信号は、光サーキュレータに入力され、さらに光サーキュレータに接続された光導波路に入力され、この光導波路において偏波モード分散補償された光信号を光サーキュレータが第2の光伝送路に出力するようにしている。

【0032】つぎの発明にかかる偏波モード分散等化器は、上記の発明において、入力する光信号を送送する第1の光伝送路と、出力する光信号を送送する第2の光伝送路と、前記第1の光伝送路と前記光導波路の入出力端と前記第2の光伝送路とを接続し、該第1の光伝送路と該複数の前記光導波路と該第2の光伝送路との間で入出力される光信号を合分波する光合分波器と、をさらに備えたことを特徴とする。

【0033】この発明によれば、第1の光伝送路から入力された光信号は、光合分波器に入力され、複数の光導波路に分波される。分波された光信号は各光導波路で偏波モード分散補償され、再度光合分波器に入力され、第2の光伝送路に出力されるようにしている。

【0034】つぎの発明にかかる偏波モード分散等化器は、上記の発明において、前記光サーキュレータに接続され、前記光導波路の入出力端から出力された光信号の波長分散を補償し、該光サーキュレータに出力する可変分散補償手段をさらに備えたことを特徴とする。

【0035】この発明によれば、光導波路によって偏波モード分散補償された光信号は、この光導波路内において波長分散を受けるが、可変分散補償手段によってこの

波長分散を補償するようにしている。

【0036】つぎの発明にかかる偏波モード分散等化器は、上記の発明において、前記光導波路の入出力端の前端に該光導波路に入力される光信号の偏波面を調整する偏波面調整手段をさらに備えたことを特徴とする。

【0037】この発明によれば、光導波路による偏波モード分散補償を行う前に光信号の偏波面を最適な状態に調整するようにしている。

【0038】つぎの発明にかかる偏波モード分散等化器は、上記の発明において、前記光導波路の入出力端から出力された光信号の偏波モード分散を検出する偏波モード分散検出手段と、前記偏波モード分散検出手段の検出結果をもとに前記温度勾配手段、前記電界勾配手段または前記応力勾配手段を制御して前記偏波モード分散を最小にする制御手段と、をさらに備えたことを特徴とする。

【0039】この発明によれば、偏波モード分散検出手段が光導波路の入出力端から出力された光信号の偏波モード分散を検出し、制御手段が、この検出結果をもとに温度勾配手段、電界勾配手段または応力勾配手段をフィードバック制御し、動的に偏波モード分散が最小となるように制御する。

【0040】つぎの発明にかかる偏波モード分散等化器は、上記の発明において、前記光導波路の入出力端から出力された光信号の符号誤りを検出する誤り検出手段と、前記誤り検出手段の検出結果をもとに前記温度勾配手段、前記電界勾配手段または前記応力勾配手段を制御して前記符号誤りを最小にする制御手段と、をさらに備えたことを特徴とする。

【0041】この発明によれば、誤り検出手段が光導波路の入出力端から出力された光信号の符号誤りを検出し、制御手段が、この検出結果をもとに温度勾配手段、電界勾配手段または応力勾配手段をフィードバック制御し、動的に偏波モード分散が最小となるように制御する。

【0042】つぎの発明にかかる偏波モード分散等化器は、上記の発明において、波長多重化された光信号を複数のポートに分波する分波器と、前記分波器によって分波された光信号のうちの所定波長帯域の光信号を取り出し、取り出された光信号を複数の前記光導波路のうちの対応する光導波路の入出力端にそれぞれ入力する複数の光フィルタと、各光導波路の入出力端から出力された光信号を合波して出力する合波器と、をさらに備えたことを特徴とする。

【0043】この発明によれば、分波器が波長多重化された光信号を複数のポートに分波し、光フィルタが、分波器によって分波された光信号のうちの所定波長帯域の光信号を取り出し、この取り出した光信号を複数の光導波路のうちの対応する光導波路の入出力端にそれぞれ入力して偏波モード分散補償を行わせ、合波器が、この偏

波モード分散補償された各光信号を合波して出力するようにしている。

【0044】つぎの発明にかかる偏波モード分散等化器は、上記の発明において、波長多重化された光信号を所定波長帯域毎に分岐し、分岐された各光信号を複数の前記光導波路のうちの対応する光導波路の入出力端に接続するアレイ型導波路格子と、前記アレイ型導波路格子を接続する光サーキュレータと、をさらに備えたことを特徴とする。

【0045】この発明によれば、アレイ型導波路格子が、波長多重化された光信号を所定波長帯域毎に分岐し、分岐された各光信号を複数の光導波路のうちの対応する光導波路に入力して偏波モード分散補償を行わせ、アレイ型導波路格子が、この偏波モード分散補償が行われた光信号を合波して出力するようにしている。

【0046】

【発明の実施の形態】以下に添付図面を参照して、この発明にかかる偏波モード分散等化器の好適な実施の形態を詳細に説明する。

【0047】実施の形態1. まず、この発明の実施の形態1について説明する。図1は、この発明の実施の形態1である偏波モード分散等化器の構成および動作を示す図である。図1において、偏波モード分散等化器10は、長手方向であるz方向に光を導波する光導波路3を形成する。偏波モード分散等化器10は、この光導波路3上のz方向にグレーティングピッチ $\Lambda$ を等間隔にした複屈折光導波路グレーティング1をもたせた回折格子2を有する。複屈折導波路グレーティング1は、z方向に直交する面を定義するx-y平面上の屈折率が一様ではなく、x方向を長軸とする楕円特性をもった複屈折性を有し、x方向（主偏波方向）の屈折率 $n_x$ とy方向の屈折率 $n_y$ とは、 $n_x > n_y$ の関係を有する。また、複屈折導波路グレーティング1の等価屈折率は、図1(b)に示すようにz方向（長手方向）に進むに従って1次関数的に変化させている。

【0048】ここで、一般にグレーティングによって反射される波長（ブラッグ波長） $\lambda_b$ は、グレーティングの等価屈折率 $n_{eff}$ とグレーティングピッチ $\Lambda$ とを用いて次式(6)で表せる。すなわち、 $\lambda_b = 2 n_{eff} \cdot \Lambda$ ・・・(6)のように表せる。したがって、グレーティングピッチ $\Lambda$ が一定の場合で、図1(b)に示すように、長手方向に進むに従って屈折率が1次関数的に増大する場合、図1(c)に示すようにブラッグ波長 $\lambda_b$ も1次関数的に増大する。

【0049】ところで、光導波路3のz方向に、偏光L1とこの偏光L1に直交する偏光L2との成分を有する入射光L1が入射すると、各偏光L1、L2が複屈折導波路グレーティング1で受ける屈折率が異なるため、各偏光L1、L2は、z軸上、異なる反射点を有することになる。ここでは、x方向の屈折率 $n_x$ はy方向の屈折

率 $n_y$ に対して常に大きな値を持たせるようにしているので、光導波路3の入射点から偏光L1の反射点までの距離は、同じ入射点から偏光L2の反射点までの距離に対して小さな値となる。たとえば、図1(a)において、入射光L1は反射点P1で反射し、入射光L2は反射点P1からさらにz方向に進んだ反射点P2で反射する。この反射点P1におけるnx方向の屈折率 $n_1$ と反射点P2におけるny方向の屈折率 $n_2$ とは同じ屈折率であり、このような反射点位置関係となるように等価屈折率 $n_a$ 、 $n_b$ が設定されることになる。

【0050】各偏光L1、L2の群遅延時間の波長依存性は、図1(d)に示す関係を有し、偏光L1の群遅延時間波長依存性を示す特性F1は、偏光L2の群遅延時間波長依存性を示す特性F2に比して長波長側にシフトしたものとなる。すなわち、偏光L1が光導波路3に入射し、反射点P1で反射して戻ってくるまでの群遅延時間と、偏光L2が光導波路3に入射し、反射点P2で反射して戻ってくるまでの群遅延時間とは異なり、偏光L1の群遅延時間に比して偏光L2の群遅延時間の方が大きな値となる。

【0051】したがって、波長 $\lambda_0$ の入射光を構成する偏光L1が偏光L2に比して群遅延時間差 $\Delta\tau$ のPMDを有する場合、偏光L2に対して群遅延時間差 $\Delta\tau$ の遅延量を相対的に与えるようにすれば、偏波モード分散等化器10によって反射された出射光LOを構成する偏光L1と偏光L2との群遅延時間差であるPMDが補償されることになる。すなわち、偏波モード分散等化器10の光導波路3内において波長 $\lambda_0$ に対する偏光L2の群遅延時間 $\tau_{p2}$ と偏光L1の群遅延時間 $\tau_{p1}$ との差が、入射光L1の群遅延時間差 $\Delta\tau$ となるように、複屈折導波路グレーティング1の等価屈折率とグレーティングピッチ $\Lambda$ とを設定すればよい。

【0052】なお、偏光L2が偏光L1に比して群遅延時間差 $\Delta\tau$ 分、遅延する場合には、複屈折導波路グレーティング1の等価屈折率を1次関数的に減少させ、光導波路3内において偏光L2に対して偏光L1が群遅延時間差 $\Delta\tau$ 分、遅延して出射させるようにすればよい。

【0053】また、上述した実施の形態1では、複屈折導波路グレーティング1の等価屈折率をz方向に進むに従って1次関数的に増加するように設定していたが、複屈折導波路グレーティング1が複屈折性を有するのであれば、複屈折導波路グレーティングの等価屈折率をz方向に一定としてもよい。この場合、複屈折性によって各偏光L1、L2が受ける屈折率が異なり、この屈折率の違いによって異なる反射点を有することになるからである。

【0054】この実施の形態1によれば、光導波路3上に、ブラッグ反射を生じさせる複屈折導波路グレーティング1のグレーティングピッチ $\Lambda$ を等間隔とし、各複屈折導波路グレーティングに複屈折性をもたせ、かつ光導



波路3の長手方向(z方向)に進むに従って複屈折導波路グレーティングの等価屈折率を1次関数的に変化させた偏波モード分散等化器を形成し、この偏波モード分散等化器に入射される入射光を構成する直交した偏光L1、L2の各ブラッグ反射点までの光路長を異ならせ、反射した出射光を構成する各偏光L1、L2の群遅延時間差 $\Delta\tau$ を解消することによってPMDの補償を行うようにしている。

【0055】実施の形態2. つぎに、この発明の実施の形態2について説明する。上述した実施の形態1では、複屈折性を有した複屈折導波路グレーティング1のグレーティングピッチ $\Lambda$ を等間隔とし、複屈折導波路グレーティング1の等価屈折率を光導波路3の長手方向に沿って変化させるようにしていたが、この実施の形態2では、複屈折導波路グレーティングの等価屈折率を長手方向に変化させず、グレーティングピッチ $\Lambda$ を長手方向に線形変化させたチャープドグレーティングとしている。

【0056】図2は、この発明の実施の形態2である偏波モード分散等化器の構成および動作を示す図である。図2(a)に示すように、この偏波モード分散等化器20は、光導波路23を構成し、複屈折導波路グレーティング21のグレーティングピッチ $\Lambda$ は、光導波路23の長手方向に進むに従って、その間隔を順次線形(1次関数的)に拡げる変化をもたせた回折格子22を形成している。ただし、各複屈折導波路グレーティング21は、複屈折性を有するものの、その等価屈折率は長手方向に対して変化しない。この点が実施の形態1と異なる。

【0057】したがって、式(6)を参照すると、各複屈折導波路グレーティング21の長手方向の等価屈折率 $n_{eff}$ が同じであり、グレーティングピッチ $\Lambda$ が長手方向距離に対応して1次関数的に変化するため、図2

(b)に示すように、長手方向距離に対するブラッグ波長 $\lambda_b$ の値も1次関数的に変化する。一方、たとえば波長 $\lambda_0$ をもつ入射光L1が偏波モード分散等化器20に入力されると光導波路23上のブラッグ反射を行う反射点で反射し、出射光LOとして出力される。したがって、偏波モード分散等化器20に入射された入射光L1は反射点までの距離に対応した遅延量をもった出射光LOとして出射される。

【0058】ここで、複屈折導波路グレーティング21は複屈折性を有しているため、波長 $\lambda_0$ の入射光L1を構成する偏光L1とこれに直交する偏光L2に対する屈折率が異なり、偏光L1が光導波路上で受ける屈折率の方が偏光L2が受ける屈折率に比して大きくしている。したがって、各偏光L1、L2の群遅延時間の波長依存性は、図2(c)に示す関係を有し、偏光L1の群遅延時間波長依存性を示す特性F21は、偏光L2の群遅延時間波長依存性を示す特性F22に比して長波長側にシフトしたものとなる。この結果、波長 $\lambda_0$ の入射光L1を構成する偏光L1と偏光L2に対する群遅延時

間が異なり、各偏光L1、L2に対して群遅延差 $\Delta\tau$ を生じさせることになる。

【0059】したがって、波長 $\lambda_0$ の入射光を構成する偏光L1が偏光L2に比して群遅延時間差 $\Delta\tau$ のPMDを有する場合、偏光L2に対して群遅延時間差 $\Delta\tau$ の遅延量を相対的に与えるようにすれば、偏波モード分散等化器20によって反射された出射光LOを構成する偏光L1と偏光L2とのPMDが補償されることになる。すなわち、偏波モード分散等化器20の光導波路内において波長 $\lambda_0$ に対する偏光L2の群遅延時間 $\tau_{p2}$ と偏光L1の群遅延時間 $\tau_{p1}$ との差が、入射光L1の群遅延時間差 $\Delta\tau$ となるように、複屈折導波路グレーティング1の間隔をチャープ化すればよい。

【0060】なお、偏光L2が偏光L1に比して群遅延時間差 $\Delta\tau$ 分、遅延する場合には、複屈折導波路グレーティング1の間隔を1次関数的に減少させるチャープ化を行い、光導波路23内において偏光L2に対して偏光L1が群遅延時間差 $\Delta\tau$ 分、遅延して出射させるようにすればよい。

【0061】この実施の形態2によれば、光導波路23上に、ブラッグ反射を生じさせる複屈折導波路グレーティング1のグレーティングピッチ $\Lambda$ を長手方向に変化させたチャープドグレーティングとし、各複屈折導波路グレーティングに複屈折性をもたせた偏波モード分散等化器を形成し、この偏波モード分散等化器に入射される入射光を構成する直交した偏光L1、L2の各ブラッグ反射点までの光路長を異ならせ、反射した出射光を構成する各偏光L1、L2の群遅延時間差 $\Delta\tau$ を解消することによってPMDの補償を行うようにしている。

【0062】実施の形態3. つぎに、この発明の実施の形態3について説明する。上述した実施の形態2では、複屈折性を有した複屈折導波路グレーティング1のグレーティングピッチ $\Lambda$ を長手方向に線形に変化させたチャープドグレーティングとされていたが、この実施の形態3では、複屈折導波路グレーティングのグレーティングピッチ $\Lambda$ を長手方向に不均一に変化させるようにしている。

【0063】図3は、この発明の実施の形態3である偏波モード分散等化器の構成および動作を示す図である。図3(a)に示すように、この偏波モード分散等化器30は、光導波路33を構成し、複屈折導波路グレーティング31のグレーティングピッチ $\Lambda$ は、光導波路33の長手方向に進むに従って、その間隔を不均一に変化させた回折格子32を形成させており、このように不均一にグレーティングピッチを変化させたものをアポタイズグレーティングと呼ぶ。複屈折導波路グレーティング31のグレーティングピッチ $\Lambda$ の変化は、長手方向に進むにしたがって当初グレーティングピッチ $\Lambda$ を徐々に拡げていき、光導波路33の中央部を境にして再び長手方向に進むにしたがってグレーティングピッチ $\Lambda$ を縮めていく

ようにしている。複屈折導波路グレーティング31は、複屈折性を有するが、その等価屈折率は長手方向に対して変化しない。

【0064】したがって、式(6)を参照すると、各複屈折導波路グレーティング21の長手方向の等価屈折率 $n_{eff}$ が同じであり、グレーティングピッチ $\Lambda$ が長手方向距離に対応して変化するため、図3(b)の特性F0で示すように、長手方向距離に対するブラッグ波長 $\lambda_b$ の値も特性F0と同様な曲線を描いて変化する。一方、たとえば波長 $\lambda_0$ をもつ入射光L1が偏波モード分散等化器30に入力されると光導波路上のブラッグ反射を行う反射点で反射し、出射光L0として出力される。したがって、偏波モード分散等化器30に入射された入射光L1は反射点までの距離に対応した遅延量をもった出射光L0として出射される。

【0065】ここで、複屈折導波路グレーティング31は複屈折性を有しているため、波長 $\lambda_0$ の入射光L1を構成する偏光L1とこれに直交する偏光L2に対する屈折率が異なり、偏光L1が光導波路上で受ける屈折率の方が偏光L2が受ける屈折率に比して大きくしている。したがって、各偏光L1、L2の群遅延時間の波長依存性は、図3(c)に示す関係を有し、偏光L1の群遅延時間波長依存性を示す特性F31は、偏光L2の群遅延時間波長依存性を示す特性F32に比して長波長側にシフトしたものとなる。この結果、波長 $\lambda_0$ の入射光L1を構成する偏光L1と偏光L2に対する群遅延時間が異なり、各偏光L1、L2に対して群遅延差 $\Delta\tau$ を生じさせることになる。

【0066】したがって、波長 $\lambda_0$ の入射光を構成する偏光L1が偏光L2に比して群遅延時間差 $\Delta\tau$ のPMDを有する場合、偏光L2に対して群遅延時間差 $\Delta\tau$ の遅延量を相対的に与えるようにすれば、偏波モード分散等化器30によって反射された出射光L0を構成する偏光L1と偏光L2とのPMDが補償されることになる。すなわち、偏波モード分散等化器30の光導波路33内において波長 $\lambda_0$ に対する偏光L2の群遅延時間 $\tau_{p2}$ と偏光L1の群遅延時間 $\tau_{p1}$ との差が、入射光L1の群遅延時間差 $\Delta\tau$ となるように、複屈折導波路グレーティング31の間隔を変化させればよい。

【0067】なお、偏光L2が偏光L1に比して群遅延時間差 $\Delta\tau$ 分、遅延する場合には、複屈折導波路グレーティング1の間隔を入射端から徐々に短くさせる変化を行って、光導波路33内において偏光L2に対して偏光L1が群遅延時間差 $\Delta\tau$ 分、遅延して出射させるようにすればよい。また、図3(c)に示した群遅延時間の波長依存性の長波長側を用いるようにすれば、偏光L1、L2の反射点を逆転させることができるので、この長波長側の特性を用いてPMDを適切に補償するようにしてもよい。

【0068】また、上述した実施の形態3では、グレー

ティングピッチ $\Lambda$ を長手方向に沿って不均一な変化をとるようにしているが、この変化は長手方向距離に対応した関数として表すようにしてもよい。

【0069】さらに、上述した実施の形態3では、グレーティングピッチ $\Lambda$ を長手方向に沿って不均一としているが、これに限らず、グレーティングピッチ $\Lambda$ を等間隔とし、複屈折導波路グレーティングの等価屈折率を不均一に変化させるようにしてもよい。

【0070】この実施の形態3によれば、光導波路33上に、ブラッグ反射を生じさせる複屈折導波路グレーティング1のグレーティングピッチ $\Lambda$ を長手方向に不均一に変化させ、各複屈折導波路グレーティングに複屈折性をもたせた偏波モード分散等化器を形成し、この偏波モード分散等化器に入射される入射光を構成する直交した偏光L1、L2の各ブラッグ反射点までの光路長を異ならせ、反射した出射光を構成する各偏光L1、L2の群遅延時間差 $\Delta\tau$ を解消することによってPMDの補償を行うようにしている。

【0071】実施の形態4、つぎに、この発明の実施の形態4について説明する。上述した実施の形態1～3では、いずれも、偏波モード分散等化器10～30の光導波路上における偏光L1、L2の反射点が固定的であったが、この実施の形態4では、複屈折導波路グレーティングに温度変化を与えることによって複屈折導波路グレーティングの等価屈折率を長手方向に沿って変化させるようにしている。

【0072】図4は、この発明の実施の形態4である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。図4において、この偏波モード分散等化器40は、光導波路43を構成し、光導波路43の長手方向に沿って複屈折性を有した複屈折導波路グレーティング41を等間隔に形成した回折格子42を有する。回折格子42の両端には、加熱部44a、44bを有し、この加熱部44a、44bは、温度制御部44によって温度制御される。温度制御部44は、各加熱部44a、44bに対する熱量発生を異ならせる制御を行うことによって、回折格子42に対して温度勾配を与え、回折格子42を形成する複屈折グレーティング41の等価屈折率を長手方向に沿って変化させるようにしている。なお、加熱部44a、44bを加熱しない初期状態において、複屈折導波路グレーティングの等価屈折率は長手方向に沿って同じであるものとする。また、各複屈折導波路グレーティングの間隔は長手方向に沿って同じであるものとする。

【0073】光導波路43の屈折率は温度の関数となっているため、回折格子42の等価屈折率も温度の関数となる。したがって、加熱部44a、44bによって熱勾配を与えると、回折格子42の等価屈折率も長手方向に沿って温度勾配が発生する。図5(a)は、加熱部44a、44bによって導波路43に温度差を与えた場合における長手方向距離に対する光導波路43の温度、すな

わち長手方向距離に対する等価屈折率の勾配を示している。図5(a)では、長手方向に沿って順次温度が高くなるような温度勾配を与えているので、長手方向に沿って順次、等価屈折率が高くなる変化が与えられる。したがって、図5(b)に示すように、実施の形態1と同様に長手方向に沿ってブラッグ波長 $\lambda_b$ の値も順次大きな値に変化し、図5(c)に示すように、群遅延時間の波長依存性も波長が長くなるにしたがって、群遅延時間が大きくなる特性を示す。また、図5(d)に示すように、各偏光L1、L2に対する群遅延時間の波長依存性は、偏光L1の特性F41が偏光L2の特性F42に対して長波長側にシフトしたものとなる。偏光L2を偏光L1に比して群遅延時間 $\Delta\tau$ 分、遅延させることでPMDをなくす補償を行うことができる。

【0074】ここで、温度制御部44が加熱部44a、44bに対する温度勾配を変化させる場合を考える。図5(a)～図5(c)に示した実線は、温度勾配を大きく(急)にした場合を示し、破線は、温度勾配を小さく(緩やか)にした場合を示している。温度勾配を大きくした場合、図6(a)に示すように、波長 $\lambda_0$ における群遅延時間差 $\Delta\tau$ は、群遅延時間差 $\Delta\tau'$  ( $\Delta\tau' < \Delta\tau$ )となり、群遅延時間差を小さくすることができる。一方、温度勾配を小さくした場合、図6(b)に示すように、波長 $\lambda_0$ における群遅延時間差 $\Delta\tau$ は、群遅延時間差 $\Delta\tau''$  ( $\Delta\tau'' > \Delta\tau$ )となり、群遅延時間差を大きくすることができる。すなわち、温度勾配を変化させることによって群遅延時間差を変化させることができる。

【0075】また、図5(a)とは逆の温度勾配を与えることもできる。すなわち、図7(a)に示すように、長手方向に沿って負の温度勾配を与えることができる。このような負の温度勾配を与えると、図7(b)に示すようにブラッグ波長 $\lambda_b$ も長手方向に沿って小さくなる特性を示す。この結果、図7(c)に示すように、群遅延時間の波長依存性も負の勾配をもち、偏光L1に対する特性が長波長側にシフトする。したがって、偏光L1が偏光L2に比して群遅延時間 $\Delta\tau$ 進む特性を有した入射光L1に対して偏光L1を群遅延時間 $\Delta\tau$ 遅らすというPMD補償を行うことができる。

【0076】なお、上述した実施の形態4では、加熱部44a、44bによって光導波路43に温度勾配を与えるようにしているが、これに限らず、冷却によって温度勾配を与えるようにしてもよい。要は、光導波路43の長手方向に任意の温度勾配が設定できればよい。

【0077】また、実施の形態1のように複屈折導波路グレーティングの等価屈折率が長手方向に予め変化していてもよく、また、実施の形態2、3のように複屈折導波路グレーティング41の間隔が変化していてもよい。

【0078】この実施の形態4によれば、光導波路43上に、ブラッグ反射を生じさせる複屈折導波路グレー

ティング1のグレーティングピッチ $\Lambda$ を長手方向に等間隔にし、各複屈折導波路グレーティングに複屈折性をもたせるとともに、光導波路43の長手方向に任意の温度勾配を持たせるようにしているので、入射光の波長に対する各偏光L1、L2の群遅延時間差 $\Delta\tau$ の長短を任意に変化させることができるとともに、正と負との温度勾配を任意に持たせることによって各偏光L1、L2の遅延関係に対応した遅延量をなくすることができるので、柔軟かつ確実なPMD補償を行うことができる。

【0079】実施の形態5、つぎに、この発明の実施の形態5について説明する。上述した実施の形態4では、光導波路の長手方向に温度勾配をもたせ、これによって偏光L1、L2に対する群遅延時間差 $\Delta\tau$ を任意に設定するものであったが、この実施の形態5では、光導波路の長手方向に電圧勾配を与え、電気光学効果によって光導波路の長手方向の等価屈折率を変化させて群遅延時間差 $\Delta\tau$ を任意に設定しようとするものである。

【0080】図8は、この発明の実施の形態5である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。図8において、この偏波モード分散等化器50は、光導波路53を構成し、光導波路53の長手方向に沿って複屈折性を有した複屈折導波路グレーティング51を等間隔に形成した回折格子52を有する。光導波路53は、電界の印加によって屈折率変化を生じさせる電気光学効果をもつ材料によって形成される。電気光学効果の大きな材料としては、各種の半導体材料や誘電体結晶材料を用いることができる。

【0081】回折格子52の側面には、複数の+電極54a～54eが設けられるとともに、他側面には-電極54fが設けられる。各+電極54a～54eには可変電源55a～55eが接続され、電圧制御部56によって設定された電圧を+電極54a～54eに印加する。電圧制御部56は、光導波路53の長手方向に沿って電圧勾配を持たせる電圧設定を行う。

【0082】上述したように光導波路53は、電気光学効果を生じる材料によって形成されているため、+電極54a～54eと-電極54fとの間に電圧が印加されると、電界によって光導波路53内では電気光学効果が生じ、屈折率が電界の大きさによって変化する。たとえば、入射光L1および出射光L2の入出射点から長手方向に沿って徐々に(線形に)大きな電圧を印加すると、長手方向に沿って屈折率が大きくなる。この結果、図9(a)に示すように波長が長くなるに従って群遅延時間も大きくなる正の勾配をもつ特性を得ることができる。ここで、偏光L1の感じる屈折率が偏光L2の感じる屈折率に比して大きい場合、偏光L1に対する群遅延時間の波長依存性を示す特性F51は、偏光L2に対する群遅延時間の波長依存性を示す特性F52に対して長波長側にシフトする。これによって、入射光L1の波長 $\lambda_0$ に対する偏光L1と偏光L2との群遅延時間が異なり、

群遅延時間差 $\Delta\tau$ であるPMDを補償することができる。

【0083】一方、偏光L1に比して偏光L2が遅延している場合には、長手方向に沿って負の電圧勾配を印加させることによって、図9(b)に示すように群遅延時間の波長依存性は負の勾配をもつようになり、これによって群遅延時間差 $\Delta\tau$ であるPMDを補償することができる。

【0084】また、群遅延時間の波長依存性が正あるいは負の勾配をもつ、いずれの場合であっても、電圧勾配を小さくすることによって同一波長に対する群遅延時間 $\Delta\tau$ の値を大きな群遅延時間 $\Delta\tau'$  ( $\Delta\tau' > \Delta\tau$ ) に適切に変化させることができ(図9(c)参照)、また、電圧勾配を大きくすることによって同一波長に対する群遅延時間 $\Delta\tau$ の値を小さな群遅延時間 $\Delta\tau''$  ( $\Delta\tau'' < \Delta\tau$ ) に適切に変化させることができる。

【0085】なお、上述した実施の形態5では、+電極54a~54eに対して長手方向に沿って順次線形に変化する電圧を印加するようにしていたが、これに限らず、不均一の電圧を印加し、長手方向に沿って不均一の屈折率変化をもたせるようにしてもよい。

【0086】この実施の形態5によれば、光導波路53上に、ブラッグ反射を生じさせる複屈折導波路グレーティング51のグレーティングピッチ $\Lambda$ を長手方向に等間隔にし、各複屈折導波路グレーティング51に複屈折性をもたせるとともに、各複屈折導波路グレーティング51によって構成される回折格子52の側面から光導波路53の長手方向に沿って変化する電圧を印加し、この電圧値に対応した光導波路53の電気光学効果による屈折率変化を長手方向に任意に変化させ、偏光L1、L2間の群遅延時間差 $\Delta\tau$ を適切に調整することができるようにしている。

【0087】実施の形態6、つぎに、この発明の実施の形態6について説明する。上述した実施の形態5では、光導波路の長手方向に電圧勾配を与え、光導波路の電気光学効果によって長手方向の等価屈折率を変化させて群遅延時間差 $\Delta\tau$ を任意に設定していたが、この実施の形態6では、光導波路の長手方向に応力勾配を与え、応力が加えられた近傍の光伝送路の光路長を応力に応じて変化させ、これによって群遅延時間差 $\Delta\tau$ を任意に設定するようにしている。

【0088】図10は、この発明の実施の形態6である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。図10において、この偏波モード分散等化器60は、光導波路63によって構成されており、光導波路63の長手方向に沿って複屈折性を有した複屈折導波路グレーティング61を等間隔に形成した回折格子62を有する。

【0089】回折格子62の側面には、複数の圧電素子であるピエゾ素子64a~64eが設けられるとともに、他側面には抑え板67が設けられる。各ピエゾ素子

64a~64eには可変電源65a~65eが接続され、電圧制御部66によって設定された電圧を各ピエゾ素子64a~64eに印加する。この場合、電圧制御部66は、光導波路63の長手方向に沿って応力勾配を持たせた電圧設定を行う。

【0090】ピエゾ素子64a~64eに電圧が印加されると、印加された電圧に対応した応力が光導波路63の側面から加えられる。大きな応力が加えられた近傍の光導波路63長は大きく伸びるため、光路長の伸びが大きくなり、小さな応力が加えられた近傍の光導波路63長は小さく伸びるため、光路長の伸びは小さくなる。この結果、ブラッグ波長 $\lambda_b$ の反射点までの距離が変化するため、各偏光L1、L2に対する反射点までの距離も比例して変化するようになる。この結果、群遅延時間差 $\Delta\tau$ も比例して変化するようになる。

【0091】たとえば、入射光L1および出射光L0の入出射点から長手方向に沿って徐々に(線形に)大きな電圧を印加すると、長手方向に沿って光路長の伸びが大きくなる。この結果、図11(a)に示すように波長が長くなるに従って群遅延時間も大きくなる正の勾配をもつ特性を得ることができ、偏光L1に対する群遅延時間の波長依存性を示す特性F61は、偏光L2に対する群遅延時間の波長依存性を示す特性F62に対して長波長側にシフトする。これによって、入射光L1の波長 $\lambda_0$ に対する偏光L1と偏光L2との群遅延時間が異なり、群遅延時間差 $\Delta\tau$ であるPMDを補償することができる。

【0092】一方、偏光L1に比して偏光L2が遅延している場合には、長手方向に沿って負の電圧勾配を印加させることによって、図11(b)に示すように群遅延時間の波長依存性は負の勾配をもつようになり、これによって群遅延時間差 $\Delta\tau$ であるPMDを補償することができる。

【0093】また、群遅延時間の波長依存性が正あるいは負の勾配をもつ、いずれの場合であっても、応力勾配を小さくすることによって同一波長に対する群遅延時間 $\Delta\tau$ の値を大きな群遅延時間 $\Delta\tau'$  ( $\Delta\tau' > \Delta\tau$ ) に適切に変化させることができ(図11(c)参照)、また、応力勾配を大きくすることによって同一波長に対する群遅延時間 $\Delta\tau$ の値を小さな群遅延時間 $\Delta\tau''$  ( $\Delta\tau'' < \Delta\tau$ ) に適切に変化させることができる(図11(d)参照)。

【0094】なお、上述した実施の形態5では、ピエゾ素子64a~54eに対して長手方向に沿って順次線形に変化する電圧を印加させ、この電圧印加によって発生する応力によって光路長を変化させるようにしていたが、これに限らず、不均一の電圧を印加し、長手方向に沿って不均一の光路長変化をもたせるようにしてもよい。

【0095】この実施の形態6によれば、光導波路63上に、ブラッグ反射を生じさせる複屈折導波路グレーテ

イング61のグレーティングピッチ $\Lambda$ を長手方向に等間隔にし、各複屈折導波路グレーティング61に複屈折性をもたせるとともに、各複屈折導波路グレーティング61によって構成される回折格子62の一侧面から光導波路63の長手方向に沿って変化する電圧を印加し、この電圧に対応して変化する応力によって光導波路63の光路長を長手方向に任意に変化させ、偏光L1、L2間の群遅延時間差 $\Delta\tau$ を適切に調整することができるようにしている。

【0096】実施の形態7、つぎに、この発明の実施の形態7について説明する。この実施の形態7では、上述した実施の形態1～6で示した偏波モード分散等化器10～60を任意の光伝送路上に配置して偏波モード分散を補償するようにしている。

【0097】図12は、この発明の実施の形態7である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。図12において、この偏波モード分散等化器70は、3端子の光サーキュレータ71の一端に実施の形態4で示した偏波モード分散等化器40を接続するようにしている。実施の形態4では、光導波路43を構成し、光導波路43の長手方向に沿って複屈折性を有した複屈折導波路グレーティング41を等間隔に形成した回折格子42を有し、温度制御部44が回折格子42の両端の一侧面に設けた加熱部44a、44bを制御することによって光伝送路43に所望の温度勾配を与え、この温度勾配に伴う屈折率変化によって各偏光L1、L2に対する群遅延時間差 $\Delta\tau$ を調整するようにしている。

【0098】光伝送路72を伝搬する光信号は、端子73aを介して光サーキュレータ74に入力され、端子73bから、光導波路43の入力端74に出力され、光導波路43に入力される。光導波路43に入力された光信号は、各偏光L1、L2に対応して異なる群遅延時間を持ち、各偏光L1、L2の群遅延時間差である $\Delta\tau$ のPMDを補償した光信号を入力端74から再び、端子73bを介して光サーキュレータ71に入力する。なお、入力端74から入力された光信号のうち、回折格子42のブラッグ波長と一致しなかった光信号は、光導波路43の出力端79から出力される。PMD補償され、光サーキュレータ71に再入力された光信号は、光サーキュレータの端子73cから光伝送路上に出力される。

【0099】なお、上述した実施の形態7では、温度勾配を設けることによってPMD補償を行う実施の形態4に対応する偏波モード分散等化器40を用いるようにしているが、これに限らず、実施の形態5、6に対応する偏波モード分散等化器50、60を用いる構成としてもよい。

【0100】この実施の形態7によれば、実施の形態4に対応する偏波モード分散等化器40を3端子の光サーキュレータ71に接続し、これによって偏波モード分散等化器40を光伝送路上に接続し、光伝送路上を伝搬する

光信号のPMDを任意の伝送路上で補償できるようにしている。

【0101】実施の形態8、つぎに、この発明の実施の形態8について説明する。上述した実施の形態7では、光サーキュレータ71を用いて偏波モード分散等化器40を光伝送路上に接続するようにしていたが、この実施の形態8では、光合分波器を用いて偏波モード分散等化器40を光伝送路上に接続するようにしている。

【0102】図13は、この発明の実施の形態8である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。図13において、この偏波モード分散等化器80は、4端子の光合分波器81の2端子にそれぞれ入力側の光伝送路と出力側の光伝送路とを接続し、他の2端子にそれぞれ実施の形態4で示した偏波モード分散等化器40を接続するようにしている。

【0103】光伝送路82を伝搬する光信号は、光合分波器81の端子83aを介して入力され、二つの隣り合う光導波路43、43'にそれぞれ端子83c、83dを介して、光パワーがそれぞれ1/2、位相差 $\pi/2$ の状態に分波出力される。分波された光信号のうち、光導波路43、43'においてブラッグ波長に一致した光信号のみが回折格子42、42'によって反射され、光合分波器81に出力されるとともに、光導波路43、43'においてブラッグ波長に一致しなかった光信号は、それぞれ出力端子89、89'から出力される。

【0104】光導波路43、43'によって反射された光信号は、温度勾配によって調整された群遅延時間差 $\Delta\tau$ 分のPMDが補償されている。この光信号は、光合分波器81を通過するときに、さらに $\pi/2$ の位相差を得るので、光合分波器81を往復した光導波路43、43'からの反射光の位相差は $\pi$ となる。その結果、反射光は、光合分波器81の端子83a、83bを介して出力されるが、このうち、端子83bを通過する反射光のみが出力光として光伝送路上に伝送される。

【0105】なお、上述した実施の形態8では、温度勾配を設けることによってPMD補償を行う実施の形態4に対応する偏波モード分散等化器40を用いるようにしているが、これに限らず、実施の形態5、6に対応する偏波モード分散等化器50、60を用いる構成としてもよい。

【0106】この実施の形態8によれば、実施の形態4に対応する偏波モード分散等化器40を光合分波器81に接続し、これによって偏波モード分散等化器40を光伝送路上に接続し、簡易な構成によって、光伝送路上を伝搬する光信号のPMDを任意の伝送路上で補償できるようにしている。

【0107】実施の形態9、つぎに、この発明の実施の形態9について説明する。この実施の形態9では、実施の形態7の構成に対して、さらにPMD補償に伴う波長分散を補償できる偏波モード分散等化器を実現してい

る。

【0108】図14は、この発明の実施の形態9である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。図14において、この偏波モード分散等化器90は、実施の形態7に示した3端子の光サーキュレータ71に代えて4端子の光サーキュレータ91を設けるとともに、光サーキュレータ91の一端子に、波長分散を補償する可変分散補償器95を接続するようにしている。その他の構成は実施の形態7と同じ構成である。

【0109】光伝送路72を伝搬する光信号は、4端子の光サーキュレータ91の端子91aに入力され、端子91bから光導波路43の入力端92に出力され、光導波路43に入力される。光導波路43に入力された光信号は、各偏光L1、L2に対応して異なる群遅延時間をもち、各偏光L1、L2の群遅延時間差である $\Delta\tau$ のPMDを補償した光信号を入力端92から再び、端子91bを介して光サーキュレータ91に入力する。なお、入力端92から入力された光信号のうち、回折格子42のブラッグ波長と一致しなかった光信号は、光導波路43の出力端79から出力される。PMD補償され、光サーキュレータ91に再入力された光信号は、光サーキュレータ91の端子91cを介して可変分散補償器95に入力され、光導波路43内で受けた波長分散が補償される。波長分散が補償された光信号は、再び端子91cに入力され、光サーキュレータ91の端子91dから、光伝送路上に出力される。

【0110】なお、上述した実施の形態9では、4端子の光サーキュレータ91を用いているが、たとえば図15に示すように、二つの3端子の光サーキュレータ71、96を用いてもよい。図15において、光伝送路72を伝搬する光信号は、3端子の光サーキュレータ71の端子91aに入力され、端子91bから光導波路43の入力端92に出力され、光導波路43に入力される。光導波路43に入力された光信号は、各偏光L1、L2に対応して異なる群遅延時間をもち、各偏光L1、L2の群遅延時間差である $\Delta\tau$ のPMDを補償した光信号を入力端92から再び、端子91bを介して光サーキュレータ71に入力する。なお、入力端92から入力された光信号のうち、回折格子42のブラッグ波長と一致しなかった光信号は、光導波路43の出力端79から出力される。PMD補償され、光サーキュレータ71に再入力された光信号は、光サーキュレータ71の端子91cを介して、3端子の光サーキュレータ96の端子97aに入力される。端子97aに入力された光信号は、端子97bを介して可変分散補償器95に入力され、光導波路43内で受けた波長分散が補償される。波長分散が補償された光信号は、再び端子97bに入力され、光サーキュレータ96の端子91cから、光伝送路上に出力される。

【0111】また、上述した実施の形態9では、温度勾

配を設けることによってPMD補償を行う実施の形態4に対応する偏波モード分散等化器40を用いるようにしているが、これに限らず、実施の形態5、6に対応する偏波モード分散等化器50、60を用いる構成としてもよい。

【0112】この実施の形態9によれば、実施の形態4に対応する偏波モード分散等化器40によって波長分散された光信号に対し、可変分散補償器95を用いて波長分散補償を行うようにしているので、一層、歪みのない光信号として光伝送路上に出力することができる。

【0113】実施の形態10、つぎに、この発明の実施の形態10について説明する。この実施の形態10では、実施の形態7の構成に対し、PMD補償を行う前段にさらに偏波面調整器を設け、確実かつ正確なPMD補償を行うようにしている。

【0114】図16は、この発明の実施の形態10である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。図16において、この偏波モード分散等化器100は、実施の形態7に示した3端子の光サーキュレータ71の前段に偏波面調整器101をさらに設けた構成としている。その他の構成は、実施の形態7と同じ構成であり、同一構成部分には同一符号を付している。

【0115】光伝送路72を伝搬する光信号は、3端子の光サーキュレータ71の端子73aに入力する前に偏波面調整器101によって光信号の偏波面が調整される。すなわち、光信号の偏波面が回折格子42を形成する複屈折導波路グレーティングの主軸（図1(a)のnx方向）と45度の角度をなすように偏波面調整される。偏波面調整された光信号は、光サーキュレータ71の端子73aに入力され、端子73bから光導波路43の入力端74に出力され、光導波路43に入力される。光導波路43に入力された光信号は、各偏光L1、L2に対応して異なる群遅延時間をもち、各偏光L1、L2の群遅延時間差である $\Delta\tau$ のPMDを補償した光信号を入力端74から再び、端子73bを介して光サーキュレータ71に入力する。なお、入力端74から入力された光信号のうち、回折格子42のブラッグ波長と一致しなかった光信号は、光導波路43の出力端79から出力される。PMD補償され、光サーキュレータ71に再入力された光信号は、光サーキュレータ71の端子73cを介して光伝送路上に出力される。

【0116】なお、上述した実施の形態10では、温度勾配を設けることによってPMD補償を行う実施の形態4に対応する偏波モード分散等化器40を用いるようにしているが、これに限らず、実施の形態5、6に対応する偏波モード分散等化器50、60を用いる構成としてもよい。

【0117】また、上述した実施の形態10では、実施の形態9で示した可変分散補償器95の構成を付加していないが、この可変分散補償器95を付加するようにし

てもよい。

【0118】この実施の形態10によれば、実施の形態4に対応する偏波モード分散等化器40によってPMD補償を行う前に、PMD補償される光信号の偏波面調整を行い、これによって確実に正確なPMD補償を行うことができる。

【0119】実施の形態11. つぎに、この発明の実施の形態11について説明する。この実施の形態11では、実施の形態10の構成に対し、さらにPMD検出器を設け、このPMD検出器による検出結果をもとに、最適なPMD補償を動的に制御するようにしている。

【0120】図17は、この発明の実施の形態11である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。図17において、この偏波モード分散等化器110は、実施の形態10に示した3端子の光サーキュレータ71の端子73cに光合分波器111を接続し、この光合分波器111の一端にPMD検出器112を接続するとともに、一端を光信号の出力端としている。その他の構成は、実施の形態10と同じ構成であり、同一構成部分には同一符号を付している。

【0121】光伝送路72を伝搬する光信号は、3端子の光サーキュレータ71の端子73aに入力する前に偏波面調整器101によって光信号の偏波面が調整される。すなわち、光信号の偏光面が回折格子42を形成する複屈折導波路グレーティングの主軸(図1(a)のnx方向)と45度の角度をなすように偏波面調整される。偏波面調整された光信号は、光サーキュレータ71の端子73aに入力され、端子73bから光導波路43の入力端74に出力され、光導波路43に入力される。光導波路43に入力された光信号は、各偏光L1、L2に対応して異なる群遅延時間をもち、各偏光L1、L2の群遅延時間差である $\Delta\tau$ のPMDを補償した光信号を入力端74から再び、端子73bを介して光サーキュレータ71に入力する。なお、入力端74から入力された光信号のうち、回折格子42のブラッグ波長と一致しなかった光信号は、光導波路43の出力端79から出力される。PMD補償され、光サーキュレータ71に再入力された光信号は、光サーキュレータ71の端子73cを介して光合分波器111に出力される。

【0122】光合分波器111の端子75に入力された光信号は、PMD検出器112および端子113に出力される。PMD検出器112は、入力された光信号のPMDを検出し、この検出したPMDを温度制御部44に出力する。温度制御部44は、入力されたPMDをもとに加熱部44a、44bの加熱を制御し、光導波路43内の温度勾配を制御することによって、光導波路43に入力された光信号のPMD、すなわち群遅延時間差 $\Delta\tau$ をなくす補償を行わせるフィードバック制御を行う。一方、端子113に入力された光信号は光伝送路上に出力される。

【0123】なお、上述した実施の形態11では、温度勾配を設けることによってPMD補償を行う実施の形態4に対応する偏波モード分散等化器40を用いているが、これに限らず、実施の形態5、6に対応する偏波モード分散等化器50、60を用いる構成としてもよい。

【0124】また、上述した実施の形態11では、実施の形態9で示した可変分散補償器95の構成を付加していないが、この可変分散補償器95を付加するようにしてもよい。

【0125】この実施の形態11によれば、実施の形態4に対応する偏波モード分散等化器40によってPMD補償を行う前に、PMD補償される光信号の偏波面調整を行うとともに、光伝送路上に出力する光信号のPMDをPMD検出器112によって検出し、この検出結果をもとにPMD補償をフィードバック制御するようにしているので、最適なPMD補償を行うことができる。

【0126】実施の形態12. つぎに、この発明の実施の形態12について説明する。この実施の形態12では、実施の形態10の構成に対し、さらに誤り検出器を設け、このPMD検出器による検出結果をもとに、最適なPMD補償を動的に制御するようにしている。

【0127】図18は、この発明の実施の形態12である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。図18において、この偏波モード分散等化器120は、実施の形態11に示したPMD検出器112の代わりに誤り検出器121を設けている。その他の構成は、実施の形態11と同じ構成であり、同一構成部分には同一符号を付している。

【0128】光伝送路72を伝搬する光信号は、3端子の光サーキュレータ71の端子73aに入力する前に偏波面調整器101によって光信号の偏波面が調整される。すなわち、光信号の偏光面が回折格子42を形成する複屈折導波路グレーティングの主軸(図1(a)のnx方向)と45度の角度をなすように偏波面調整される。偏波面調整された光信号は、光サーキュレータ71の端子73aに入力され、端子73bから光導波路43の入力端74に出力され、光導波路43に入力される。光導波路43に入力された光信号は、各偏光L1、L2に対応して異なる群遅延時間をもち、各偏光L1、L2の群遅延時間差である $\Delta\tau$ のPMDを補償した光信号を入力端74から再び、端子73bを介して光サーキュレータ71に入力する。なお、入力端74から入力された光信号のうち、回折格子42のブラッグ波長と一致しなかった光信号は、光導波路43の出力端79から出力される。PMD補償され、光サーキュレータ71に再入力された光信号は、光サーキュレータ71の端子73cを介して光合分波器111に出力される。

【0129】光合分波器111の端子75に入力された光信号は、誤り検出器121および端子113に出力さ

れる。誤り検出器121は、入力された光信号の符号誤りを検出し、この検出した符号誤りを温度制御部44に出力する。温度制御部44は、入力された符号誤りをもとに加熱部44a、44bの加熱を制御し、光導波路43内の温度勾配を制御することによって、光導波路43に入力された光信号のPMD、すなわち群遅延時間差 $\Delta\tau$ をなくす補償を行わせるフィードバック制御を行う。一方、端子113に入力された光信号は光伝送路上に出力される。

【0130】なお、上述した実施の形態12では、温度勾配を設けることによってPMD補償を行う実施の形態4に対応する偏波モード分散等化器40を用いるようにしているが、これに限らず、実施の形態5、6に対応する偏波モード分散等化器50、60を用いる構成としてもよい。

【0131】また、上述した実施の形態12では、実施の形態9で示した可変分散補償器95の構成を付加していないが、この可変分散補償器95を付加するようにしてもよい。

【0132】この実施の形態12によれば、実施の形態4に対応する偏波モード分散等化器40によってPMD補償を行う前に、PMD補償される光信号の偏波面調整を行うとともに、光伝送路上に出力する光信号の符号誤りを誤り検出器121によって検出し、この検出結果をもとにPMD補償をフィードバック制御するようにしているので、最適なPMD補償を行うことができる。

【0133】実施の形態13、つぎに、この発明の実施の形態13について説明する。この実施の形態13では、光伝送路上を伝送する波長多重化信号に対するPMD補償が行えるようにしている。

【0134】図19は、この発明の実施の形態13である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。図19において、この偏波モード分散等化器130は、光伝送上を伝搬する波長多重化信号をスター型合分波器131aによって複数（ $n$ 個の多重数）に分波する。分波された光信号は、 $n$ 個の光フィルタ132-1～132- $n$ にそれぞれ入力され、光フィルタ132-1～132- $n$ は、各波長毎の光信号にフィルタリングする。フィルタリングされた光信号は、それぞれ各波長に対応する偏波面調整器133-1～133- $n$ に入力され、偏波面調整が行われ、それぞれ3端子の光サーキュレータ134-1～134- $n$ の端子135-1～135- $n$ に入力される。

【0135】光サーキュレータ71の端子135-1～135- $n$ に入力された各波長毎の光信号は、偏波モード分散等化器40に対応する偏波モード分散等化器40-1～40- $n$ の入力端136-1～136- $n$ に入力される。光導波路43-1～43- $n$ に入力された光信号は、各波長毎の各偏光 $L_1$ 、 $L_2$ に対応して異なる群遅延時間を持ち、各偏光 $L_1$ 、 $L_2$ の群遅延時間差であ

る $\Delta\tau$ のPMDを補償した光信号を入力端136-1～136- $n$ から再び、光サーキュレータ134-1～134- $n$ に入力する。なお、入力端136-1～136- $n$ から入力された各波長毎の光信号のうち、回折格子42-1～42- $n$ のブラッグ波長と一致しなかった光信号は、光導波路43-1～43- $n$ の出力端79-1～79- $n$ から出力される。PMD補償され、光サーキュレータ134-1～134- $n$ に再入力された各波長毎の光信号は、スター型合分波器131bに出力され、合波されて光伝送路上に出力される。

【0136】なお、上述した実施の形態13では、温度勾配を設けることによってPMD補償を行う実施の形態4に対応する偏波モード分散等化器40に対応する偏波モード分散等化器40-1～40- $n$ を用いるようにしているが、これに限らず、実施の形態5、6に対応する偏波モード分散等化器50、60をそれぞれの波長毎に用いる構成としてもよい。

【0137】また、上述した実施の形態13では、実施の形態9で示した可変分散補償器95の構成を付加していないが、この可変分散補償器95を付加するようにしてもよい。

【0138】さらに、上述した実施の形態13では、波長多重数に対応した個数に分波し、各波長毎にPMD補償を行い、その後合波するようにしているが、各波長毎に限らず、数波長毎の波長ブロック毎に分波し、各波長ブロック毎にPMD補償を行ってその後各波長ブロック毎に合波するようにしてもよい。

【0139】また、上述した実施の形態13では、入力用と出力用の二つのスター型合分波器131a、131bを用いるようにしたが、これに限らず、図20に示すように、光サーキュレータ142を用い、一つのスター型合分波器141とする構成としてもよい。この場合、光伝送路から入力された各波長毎の光信号は、光サーキュレータ142を介し、スター型合分波器141に入力され、各波長毎に分波され、PMD補償された後、再度、スター型合分波器141によって合波され、光サーキュレータ142を介して光伝送路上に出力されることになる。

【0140】この実施の形態13によれば、偏波モード分散等化器40に対応し、波長多重数に対応した偏波モード分散等化器40-1～40- $n$ を用いて波長多重化信号のPMDを補償するようにしているので、少ない光部品を用いた簡易な構成によって波長多重化信号のPMD補償を行うことができる。

【0141】実施の形態14、つぎに、この発明の実施の形態14について説明する。この実施の形態14では、光伝送路上を伝送する波長多重化信号に対するPMD補償が行えるようにしている。

【0142】図21は、この発明の実施の形態14である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。図21



において、この偏波モード分散等化器150は、光伝送上を伝搬する波長多重化信号をまず、3端子の光サーキュレータ152の端子161に入力する。光サーキュレータ152に投入された波長多重化信号は、端子162からアレイ導波路格子153に投入され、各波長毎に分岐された各波長の光信号は、波長多重数に対応した個数の偏波面調整部154-1~154-nに投入される。偏波面調整部154-1~154-nは、それぞれ光合分波器155-1~155-nの端子163-1~163-nに接続され、端子164-1~164-nと端子165-1~165-nに分波される。

【0143】端子164-1~164-nに分波された光信号は、誤り検出器156-1~156-nに投入され、各波長毎の光信号の符号誤りが検出される。検出された符号誤りは偏波モード分散等化器40に相当する偏波モード分散等化器40-1~40-n内の温度制御部44-1~44-nに出力される。一方、端子165-1~165-nに分波された光信号は、光導波路43-1~43-nに投入され、各波長毎の各偏光 $L_1$ 、 $L_2$ に対応して異なる群遅延時間を持ち、各偏光 $L_1$ 、 $L_2$ の群遅延時間差である $\Delta\tau$ のPMDを補償した光信号を端子165-1~165-nに反射出力する。なお、端子165-1~165-nから投入された各波長毎の光信号のうち、回折格子42-1~42-nのブラッグ波長と一致しなかった光信号は、光導波路43-1~43-nの出力端79-1~79-nから出力される。また、温度制御部44-1~44-nに投入された符号誤りをもとに、温度制御部44-1~44-nは、各加熱部44a-1~44a-nおよび各加熱部44b-1~44b-nを制御し、符号誤りをなくすようにPMD、すなわち群遅延時間差 $\Delta\tau$ をなくす補償をフィードバックして制御する。

【0144】各偏波モード分散等化器40-1~40-nによってPMD補償された各波長毎の光信号は、光合分波器155-1~155-nの端子165-1~165-nから端子166-1~166-nに分波され、再びアレイ導波路格子153に投入され、アレイ導波路格子153によって合波された波長多重化信号は、光サーキュレータ162、167を介して光伝送路上に出力される。

【0145】なお、上述した実施の形態14では、温度勾配を設けることによってPMD補償を行う実施の形態4に対応する偏波モード分散等化器40に対応する偏波モード分散等化器40-1~40-nを用いているが、これに限らず、実施の形態5、6に対応する偏波モード分散等化器50、60をそれぞれの波長毎に用いる構成としてもよい。

【0146】また、上述した実施の形態14では、実施の形態9で示した可変分散補償器95の構成を付加していないが、この可変分散補償器95を付加するようにし

てもよい。

【0147】さらに、上述した実施の形態14では、波長多重数に対応した個数に分波し、各波長毎にPMD補償を行い、その後合波するようにしているが、各波長毎に限らず、数波長毎の波長ブロック毎に分波し、各波長ブロック毎にPMD補償を行ってその後各波長ブロック毎に合波するようにしてもよい。

【0148】この実施の形態14によれば、偏波モード分散等化器40に対応し、波長多重数に対応した偏波モード分散等化器40-1~40-nを用いて波長多重化信号のPMDを補償するようにしているので、少ない光部品を用いた簡易な構成によって波長多重化信号のPMD補償を行うことができる。

【0149】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、光導波路の一端から入射された光信号は、光導波路上のグレーティングによって生じるブラッグ反射位置を複屈折性によって、光信号の各偏光に対するブラッグ反射位置を異ならせて反射させることによって、反射光路長差を持たせ、この反射光路長の違いによって反射光を構成する各偏光の偏波モード分散を補償するようにしているので、簡易な構成で、かつ小型軽量化された偏波モード分散等化器を実現できるという効果を奏する。

【0150】つぎの発明によれば、光導波路の長手方向の屈折率を変化させることによって、光導波路の長手方向距離に対応するブラッグ波長を変化させ、これによって各偏光の偏波モード分散である群遅延時間差を補償するようにしているので、簡易な構成で、かつ小型軽量化された偏波モード分散等化器を実現できるという効果を奏する。

【0151】つぎの発明によれば、光導波路のグレーティング間隔を光導波路の長手方向に沿って線形に変化させてチャープドグレーティングを実現し、光導波路の長手方向距離に対応するブラッグ波長を変化させ、これによって各偏光の偏波モード分散である群遅延時間差を補償するようにしているので、簡易な構成で、かつ小型軽量化された偏波モード分散等化器を実現できるという効果を奏する。

【0152】つぎの発明によれば、光導波路の長手方向の屈折率変化あるいは光導波路のグレーティング間隔の変化を長手方向の距離の関数によって変化させ、光導波路の長手方向距離に対応するブラッグ波長を変化させ、これによって各偏光の偏波モード分散である群遅延時間差を補償するようにしているので、簡易な構成で、かつ小型軽量化された偏波モード分散等化器を実現できるという効果を奏する。

【0153】つぎの発明によれば、温度勾配手段が光導波路の長手方向に温度勾配を与え、この温度勾配によって光導波路の長手方向に屈折率変化を与えることによって光導波路の長手方向距離に対応するブラッグ波長を変

化させ、これによって各偏光の偏波モード分散である群遅延時間差を任意に変更し、最適な偏波モード分散の補償を行うようにしている。偏波モード分散補償の対象となる光信号に対する最適な偏波モード分散補償を行うことができるという効果を奏する。

【0154】つぎの発明によれば、電界勾配手段が光導波路の長手方向に電界勾配を与え、この温度勾配によって光導波路の長手方向に電気光学効果を生じさせ、この電気光学効果による屈折率変化を与えることによって光導波路の長手方向距離に対応するブラッグ波長を変化させ、これによって各偏光の偏波モード分散である群遅延時間差を任意に変更し、最適な偏波モード分散の補償を行うようにしている。偏波モード分散補償の対象となる光信号に対する最適な偏波モード分散補償を行うことができるという効果を奏する。

【0155】つぎの発明によれば、たとえば圧電素子等を用いた応力勾配手段が光導波路の長手方向に応力勾配を与え、この応力勾配が与えられた近傍の光導波路の光路長を伸長させて光導波路の長手方向距離に対応するブラッグ波長を変化させ、これによって各偏光の偏波モード分散である群遅延時間差を任意に変更し、最適な偏波モード分散の補償を行うようにしている。偏波モード分散補償の対象となる光信号に対する最適な偏波モード分散補償を行うことができるという効果を奏する。

【0156】つぎの発明によれば、第1の光伝送路から入力された光信号は、光サーキュレータに入力され、さらに光サーキュレータに接続された光導波路に入力され、この光導波路において偏波モード分散補償された光信号を光サーキュレータが第2の光伝送路に出力するようにしている。小型軽量化された偏波モード分散等化器を実現できるとともに、偏波モード分散等化器を光伝送路の途中に設けることができ、長距離光伝送システムの場合に偏波モード分散量の蓄積を低減し、常に線形補償できる範囲の偏波モード分散量に維持できるという効果を奏する。

【0157】つぎの発明によれば、第1の光伝送路から入力された光信号は、光合分波器に入力され、複数の光導波路に分波される。分波された光信号は各光導波路で偏波モード分散補償され、再度光合分波器に入力され、第2の光伝送路に出力されるようにしている。小型軽量化された偏波モード分散等化器を実現できるとともに、偏波モード分散等化器を光伝送路の途中に設けることができ、長距離光伝送システムの場合に偏波モード分散量の蓄積を低減し、常に線形補償できる範囲の偏波モード分散量に維持できるという効果を奏する。

【0158】つぎの発明によれば、光導波路によって偏波モード分散補償された光信号は、この光導波路内において波長分散を受けるが、可変分散補償手段によってこの波長分散を補償するようにしている。偏波モード分散および波長モード分散の双方が低減され、受信側に

おいて一層、信号劣化の少ない光信号を受信することができるという効果を奏する。

【0159】つぎの発明によれば、光導波路による偏波モード分散補償を行う前に光信号の偏波面を最適な状態に調整するようにしている。偏波モード分散補償を確実に正確に行うことができるという効果を奏する。

【0160】つぎの発明によれば、偏波モード分散検出手段が光導波路の入出力端から出力された光信号の偏波モード分散を検出し、制御手段が、この検出結果をもとに温度勾配手段、電界勾配手段または応力勾配手段をフィードバック制御し、動的に偏波モード分散が最小となるように制御するので、偏波モード分散補償量の設定にかかる労力と時間を低減できるとともに、偏波モード分散量が時間的に変動する場合であっても、常に偏波モード分散補償量を最小にすることができるという効果を奏する。

【0161】つぎの発明によれば、誤り検出手段が光導波路の入出力端から出力された光信号の符号誤りを検出し、制御手段が、この検出結果をもとに温度勾配手段、電界勾配手段または応力勾配手段をフィードバック制御し、動的に偏波モード分散が最小となるように制御するので、偏波モード分散補償量の設定にかかる労力と時間を低減できるとともに、偏波モード分散量が時間的に変動する場合であっても、常に偏波モード分散補償量を最小にすることができるという効果を奏する。

【0162】つぎの発明によれば、分波器が波長多重化された光信号を複数のポートに分波し、光フィルタが、分波器によって分波された光信号のうちの所定波長帯域の光信号を取り出し、この取り出した光信号を複数の光導波路のうちの対応する光導波路の入出力端にそれぞれ入力して偏波モード分散補償を行わせ、合波器が、この偏波モード分散補償された各光信号を合波して出力するようにしている。波長多重化された光信号に対する偏波モード分散補償を行う場合であっても、簡易な構成で、かつ小型軽量化された偏波モード分散等化器を実現することができるという効果を奏する。

【0163】つぎの発明によれば、アレイ型導波路格子が、波長多重化された光信号を所定波長帯域毎に分岐し、分岐された各光信号を複数の光導波路のうちの対応する光導波路に入力して偏波モード分散補償を行わせ、アレイ型導波路格子が、この偏波モード分散補償が行われた光信号を合波して出力するようにしている。波長多重化された光信号に対する偏波モード分散補償を行う場合であっても、一層、簡易な構成で、かつ小型軽量化された偏波モード分散等化器を実現することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1である偏波モード分散等化器の構成および動作を示す図である。

【図2】 この発明の実施の形態2である偏波モード分

散等化器の構成および動作を示す図である。

【図3】 この発明の実施の形態3である偏波モード分散等化器の構成および動作を示す図である。

【図4】 この発明の実施の形態4である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。

【図5】 この発明の実施の形態4である偏波モード分散等化器によるPMD補償の原理を説明する図である。

【図6】 この発明の実施の形態4である偏波モード分散等化器によるPMD補償量の可変原理を説明する図である。

【図7】 この発明の実施の形態4である偏波モード分散等化器によるPMD補償量の可変原理を説明する図である。

【図8】 この発明の実施の形態5である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。

【図9】 この発明の実施の形態5である偏波モード分散等化器によるPMD補償の原理を説明する図である。

【図10】 この発明の実施の形態6である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。

【図11】 この発明の実施の形態6である偏波モード分散等化器によるPMD補償の原理を説明する図である。

【図12】 この発明の実施の形態7である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。

【図13】 この発明の実施の形態8である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。

【図14】 この発明の実施の形態9である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。

【図15】 この発明の実施の形態9である偏波モード分散等化器の変形例の構成を示す図である。

【図16】 この発明の実施の形態10である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。

【図17】 この発明の実施の形態11である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。

【図18】 この発明の実施の形態12である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。

【図19】 この発明の実施の形態13である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。

【図20】 この発明の実施の形態13である偏波モード分散等化器の変形例の構成を示す図である。

【図21】 この発明の実施の形態14である偏波モード分散等化器の構成を示す図である。

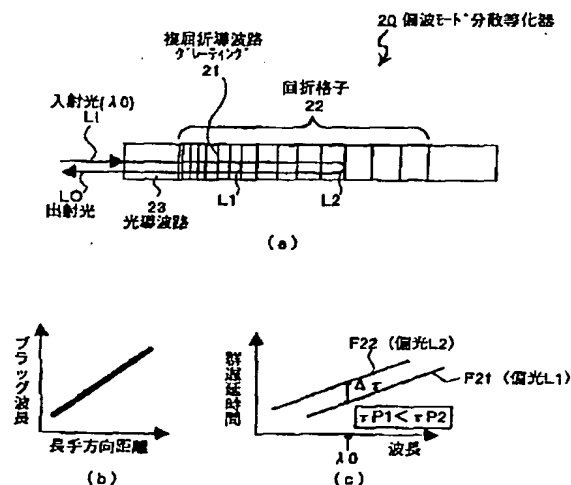
【図22】 従来におけるPMD補償回路の構成を示す図である。

【図23】 PMD補償前後の各偏波状態を示す図である。

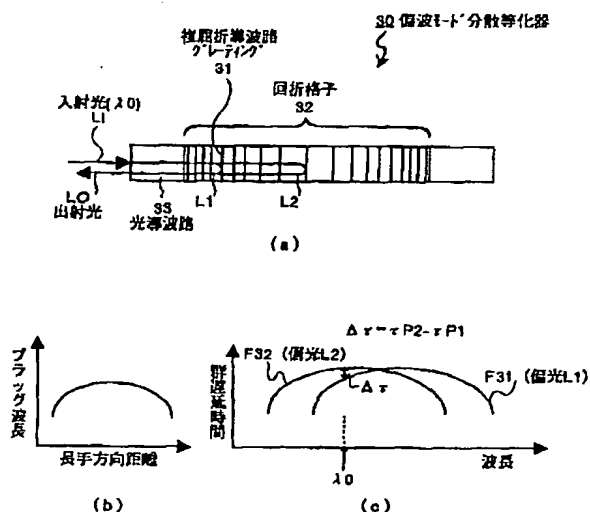
【符号の説明】

1, 21~61 複屈折導波路グレーティング、2, 22~62 回折格子、3, 23~63 光導波路、10~140 偏波モード分散等化器、44 温度制御部、44a, 44b 加熱部、54a~54e +電極、54f -電極、55a~55c, 64a~64e 電源、56, 66 電圧制御部、64a~64e ピエゾ素子、71, 91, 96, 142 光サーキュレータ、81 光合分波器、95 可変分散補償器、101 偏波面調整器、112 PMD検出器、121 誤り検出器、130, 131 スター型合分波器、132-1~132-n 光フィルタ、143 アレイ導波路格子、L1, L2 偏光、L1入射光、L0 出射光、P1, P2 反射点、na, nb 等価屈折率。

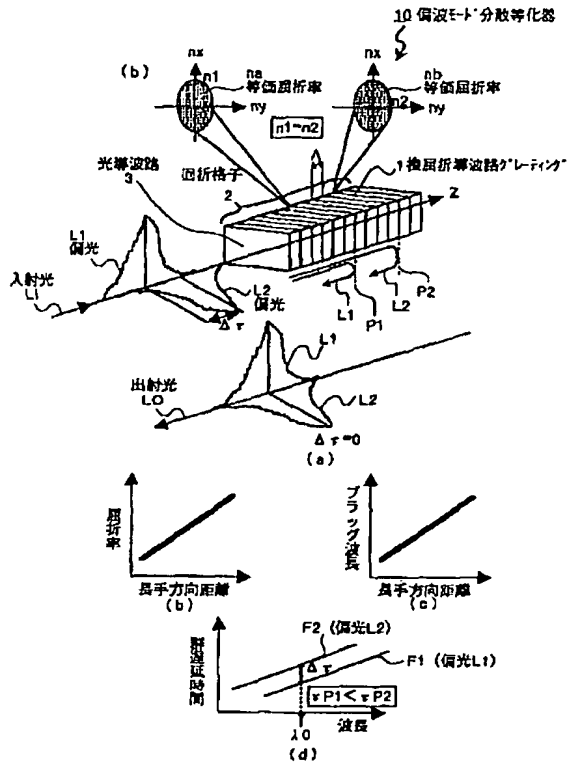
【図2】



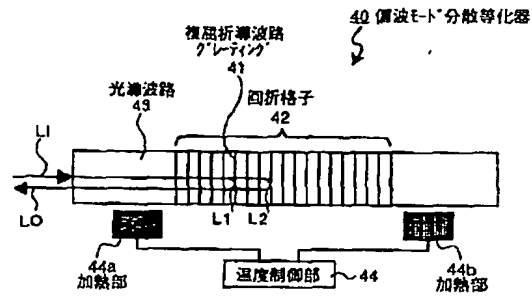
【図3】



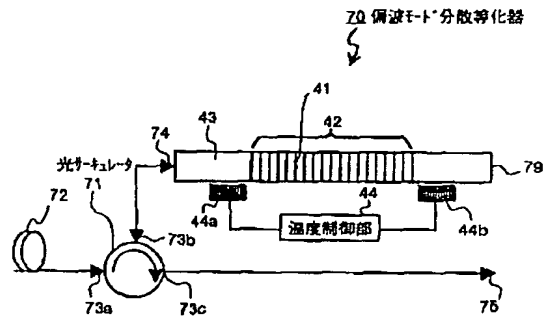
【図1】



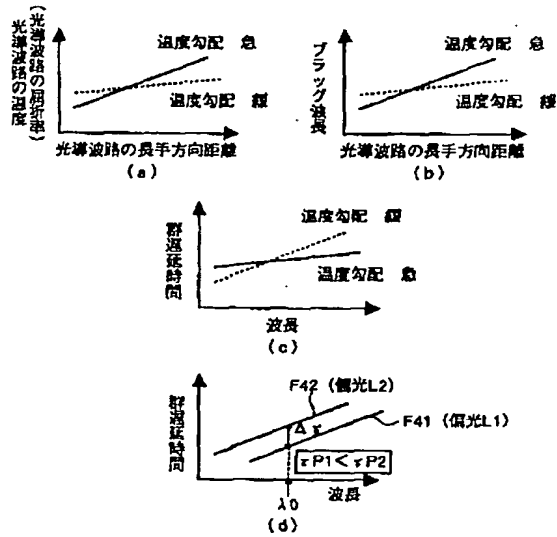
【図4】



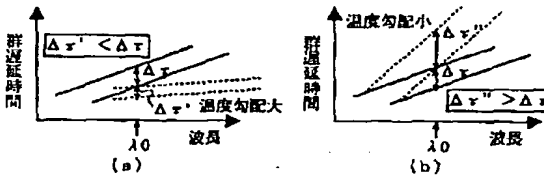
【図12】



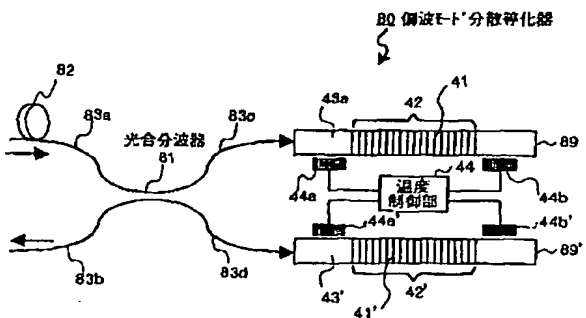
【図5】



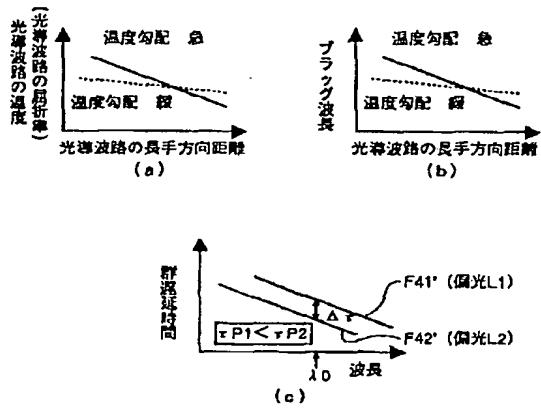
【図6】



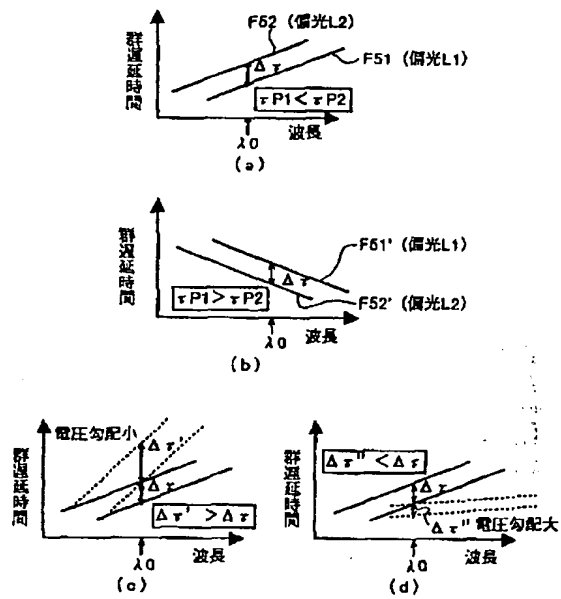
【図13】



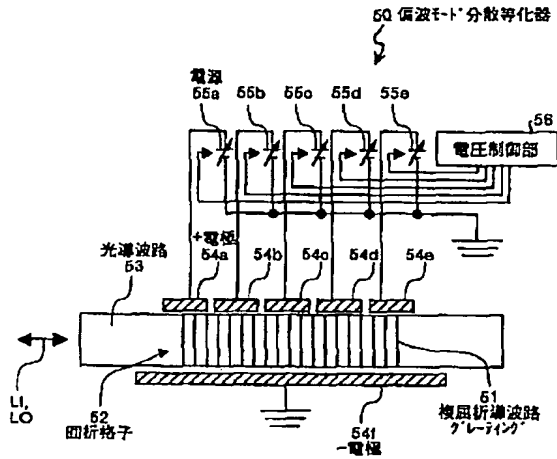
【図7】



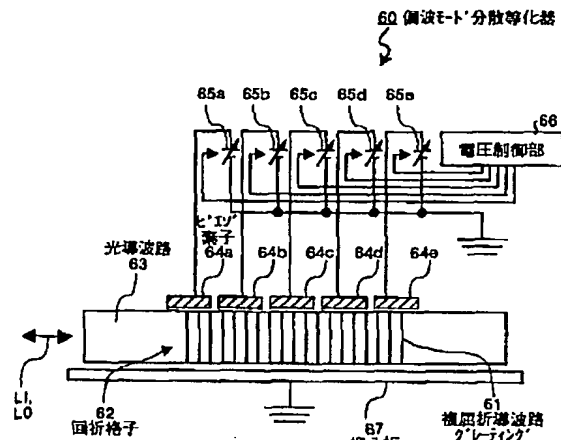
【図9】



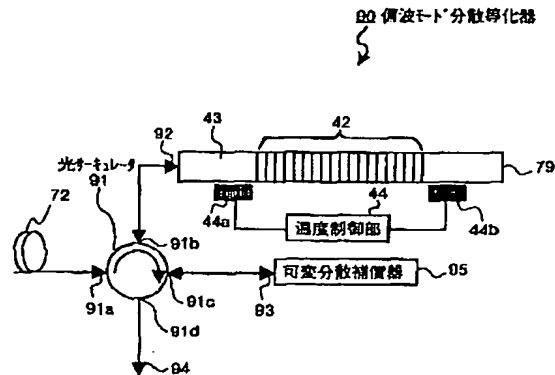
【図8】



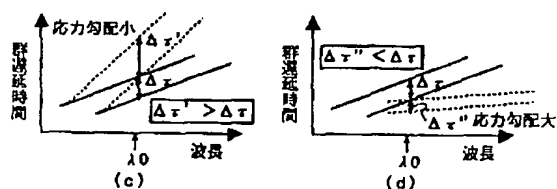
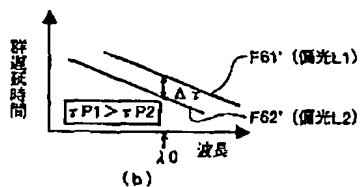
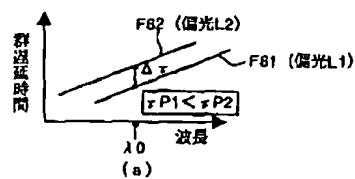
【図10】



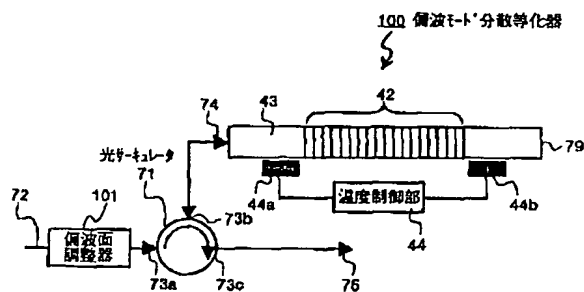
【図14】



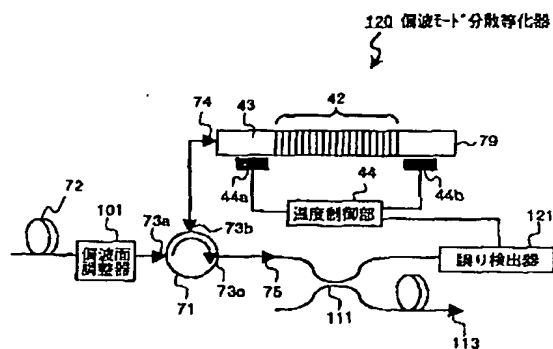
【図11】



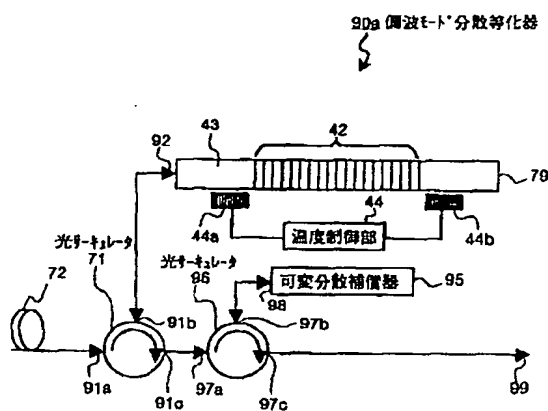
【図16】



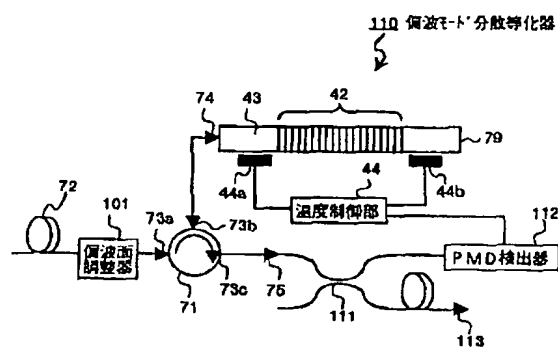
【図18】



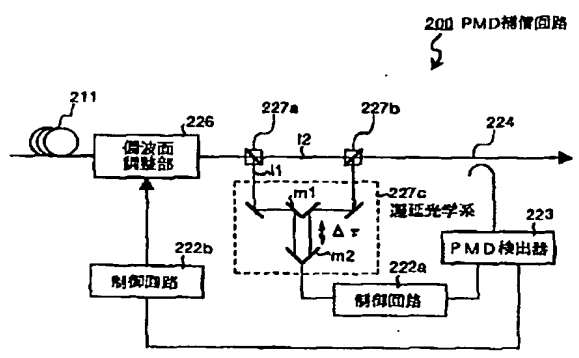
【図15】



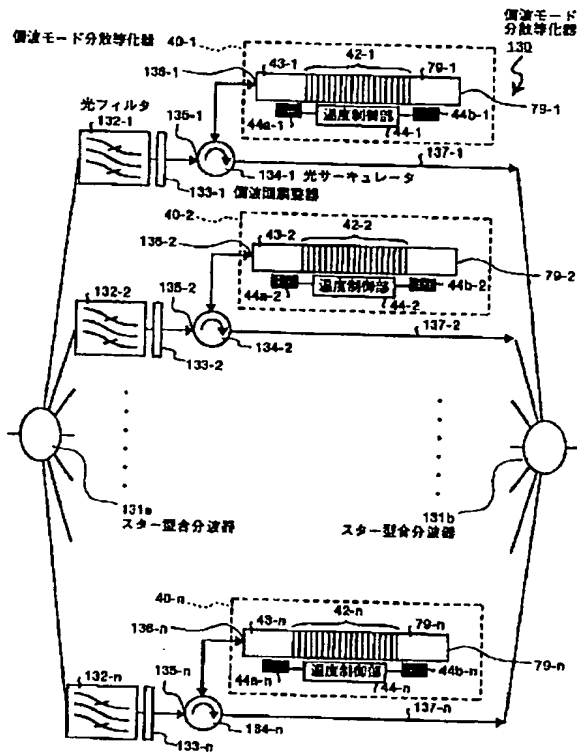
【図17】



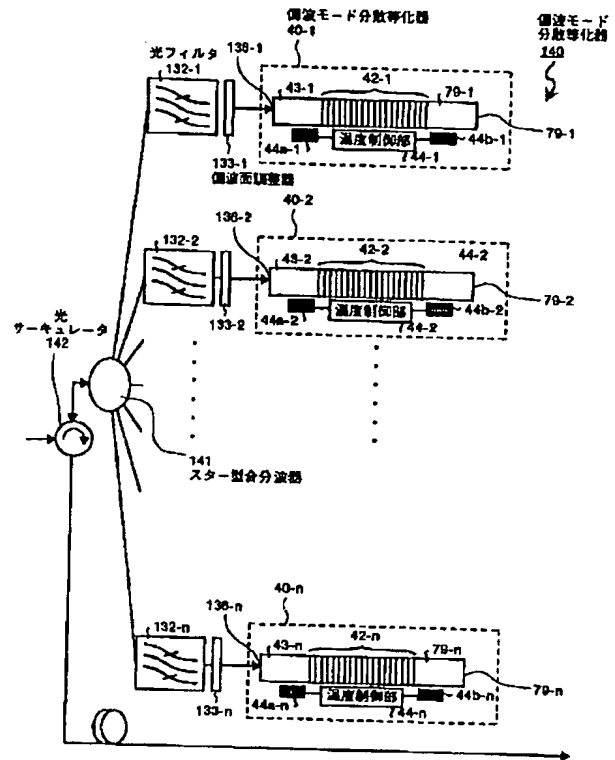
【図22】



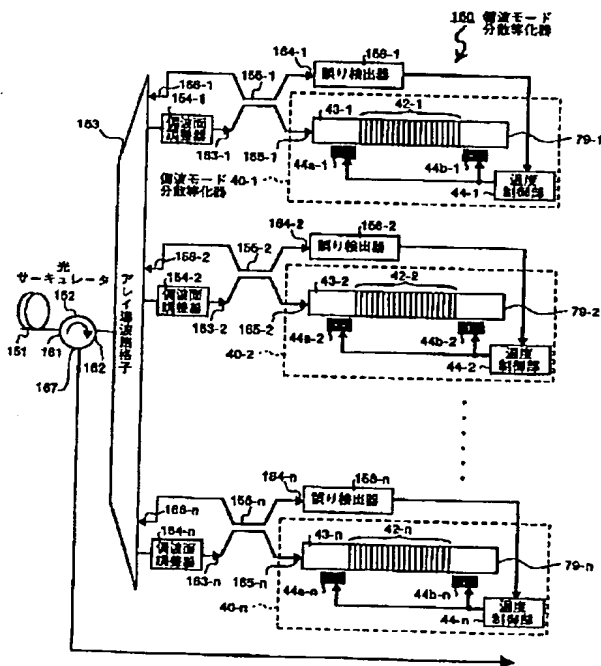
【図19】



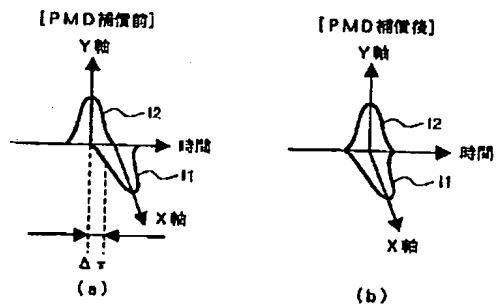
【図20】



【図21】



【図23】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード (参考)

H 0 4 J 14/00

14/02

(72) 発明者 小林 由紀夫

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

F ターム (参考) 2H047 KA11 LA00 LA03 PA11 RA00  
TA00

2H079 AA02 AA06 AA07 AA12 BA02

CA04 DA02 DA17 EA03 HA00

KA20

5K002 BA02 CA01 DA02 FA01